

## Method for amplifying an acoustic signal for the hard of hearing and device for carrying out the method

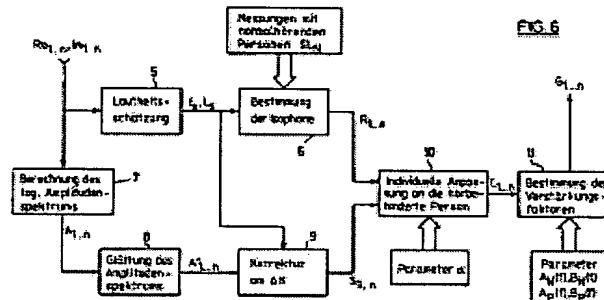
**Patent number:** DE59208225D  
**Publication date:** 1997-04-24  
**Inventor:** FROELICH THOMAS [CH]; DILLIER NORBERT DR [CH]  
**Applicant:** ASCOM AUDIOSYS AG [CH]  
**Classification:**  
 - international: H04R25/00  
 - european: H04R25/00S  
**Application number:** DE19925008225 19920912  
**Priority number(s):** CH19910002923 19911003

**Also published as:**  
 EP0535425 (A)  
 EP0535425 (A)  
 EP0535425 (B)

Abstract not available for DE59208225D

Abstract of corresponding document: EP0535425

The acoustic signals are amplified by transformation of signals which are not audible to the hard of hearing into the audible range in such a manner that the apparent loudness during the listening is equal in persons with normal hearing and in persons who are hard of hearing. The device contains an analysis section with a stage (5) for loudness estimation, with a stage (10) for individual adaptation to a person hard of hearing and with a stage (11) for determining the gain factors (G1...n).



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

*THIS PAGE BLANK (USPTO)*



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 535 425 A2**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **92115626.1**

(51) Int. Cl. 5: **H04R 25/00**

(22) Anmeldetag: **12.09.92**

(33) Priorität: **03.10.91 CH 2923/91**

(71) Anmelder: **ASCOM AUDIOSYS AG**  
**Bernstrasse 41**  
**CH-3175 Flämatt(CH)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**07.04.93 Patentblatt 93/14**

(72) Erfinder: **Fröhlich, Thomas**  
**Zürcherstrasse 87**  
**CH-5400 Baden(CH)**  
Erfinder: **Dillier, Norbert, Dr.**  
**Ekkehardstrasse 17**  
**CH-8006 Zürich(CH)**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT CH DE DK FR GB IT LI SE**

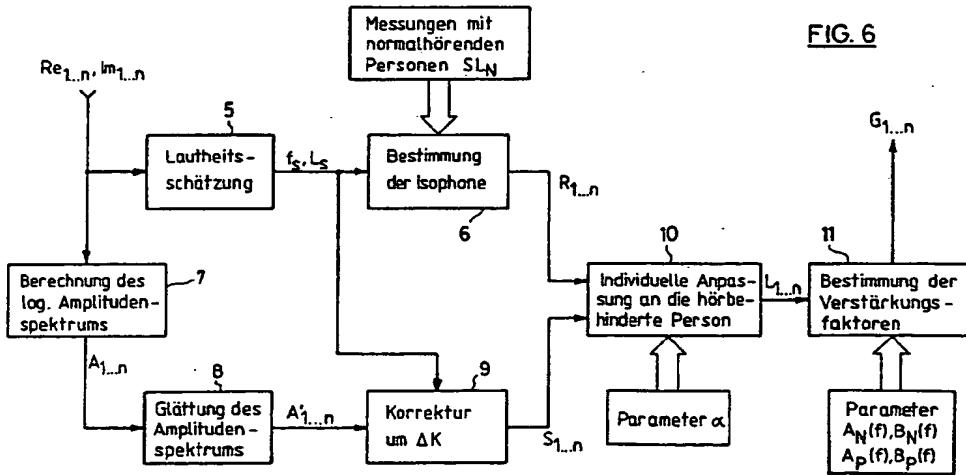
(74) Vertreter: **Troesch Scheidegger Werner AG**  
**Patentanwälte, Siewerdtstrasse 95, Postfach**  
**CH-8050 Zürich (CH)**

(54) **Verfahren zur Verstärkung von akustischen Signalen für Hörbehinderte, sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.**

(57) Die Verstärkung der akustischen Signale erfolgt durch Transformation von für den Hörbehinderten nicht hörbaren Signalen in den hörbaren Bereich, und zwar auf eine solche Weise, dass die beim Hören empfundene Lautheit bei normalhörenden und bei hörbehinderten Personen gleich ist.

Die Vorrichtung enthält einen Analyseteil mit einer Stufe (5) zur Lautheitsschätzung, mit einer Stufe (10) zur individuellen Anpassung an eine hörbehinderte Person und mit einer Stufe (11) zur Bestimmung der Verstärkungsfaktoren ( $G_{1..n}$ ).

**FIG. 6**



**EP 0 535 425 A2**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verstärkung von akustischen Signalen für Hörbehinderte durch Transformation von für den Hörbehinderten nicht hörbaren Signalen in den hörbaren Bereich.

Bei heute gebräuchlichen Hörgeräten werden die für den Hörbehinderten nicht hörbaren Signale pauschal in den hörbaren Bereich transformiert, was zur Folge hat, dass auch die als störend empfundenen

5 Hintergrund- und Nebengeräusche verstärkt werden, und zwar in einer Weise, die vom Hörbehinderten als äusserst störend und lästig empfunden wird. Es ist zwar bekannt, gewisse Frequenzen durch wahlweise einschaltbare Filter teilweise auszufiltern, trotzdem kann aber vielen hörbehinderten Personen mit den kommerziell erhältlichen Hörgeräten oft nur schlecht oder gar nicht geholfen werden.

10 Dies liegt neben den schon genannten Mängeln auch an den noch mangelhaften Erkenntnissen über die Funktionsweise des Gehörs, vor allem des geschädigten Gehörs, und am Mangel an technischen Möglichkeiten, ein dem Restgehör einer Person entsprechendes Hörgerät herzustellen.

Die Symptome eines teilweisen Hörverlusts sind vielfältig, es seien hier die folgenden genannt: Verminderte Intensitätsauflösung, verminderte Frequenzselektivität, verminderte Zeitauflösung, verminderte Störgeräuschtoleranz, und als schwerste Folge, die reduzierte Sprachdiskriminationsfähigkeit.

15 Durch die Erfindung soll nun ein Verfahren angegeben werden, mit dessen Hilfe die Funktionsfähigkeit von Hörgeräten ganz entscheidend verbessert werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass die Transformation in den hörbaren Bereich auf eine solche Weise erfolgt, dass die beim Hören empfundene Lautheit bei normalhörenden und bei hörbehinderten Personen gleich ist.

20 Theoretische Untersuchungen und praktische Versuche haben ergeben, dass die subjektiv empfundene Lautheit ein besonders gut geeignetes Kriterium für die Festlegung der Verstärkungsfaktoren eines Hörgeräts ist. Da die Lautheit von der Frequenz und vom Schallpegel abhängig ist, erfolgt also beim erfindungsgemässen Verfahren eine frequenz- und intensitätsabhängige Verstärkung.

25 Die Erfindung betrifft weiter eine Vorrichtung zur Durchführung des genannten Verfahrens mit einer Verstärkungsstufe zur Verstärkung der akustischen Signale. Die erfindungsgemässen Vorrichtung ist gekennzeichnet durch eine Stufe zur Analyse der genannten Signale und zur Bestimmung der Verstärkungsfaktoren der Verstärkungsstufe, in welcher anhand eines Vergleichs von Messungen an normalhörenden und an hörbehinderten Personen eine Berechnung des Hörverlusts für verschiedene Frequenzen in Abhängigkeit des Schallpegels erfolgt.

30 Die Analysestufe dient also dazu, eine Funktion zu bestimmen, die für jeden Schallpegel bei einer bestimmten Frequenz diejenige Verstärkung angibt, mit der ein Signal verstärkt werden muss, damit die hörbehinderte Person die gleiche Lautheit empfindet wie normalhörende Personen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und der Zeichnungen näher erläutert; es zeigt:

35 Fig. 1 ein Diagramm einer gemessenen Lautheitsfunktion bei einer normalhörenden und bei einer hörbehinderten Person,  
 Fig. 2 ein Diagramm der für einen bestimmten Ton erforderlichen Verstärkung, damit dieser bei einer normalhörenden und bei einer hörbehinderten Person die gleiche Lautheit hervorruft,  
 Fig. 3 ein Diagramm von Kurven gleicher Lautheit bei normalhörenden Personen,  
 40 Fig. 4 ein Diagramm von Kurven gleicher Lautheit bei einer hörbehinderten Person,  
 Fig. 5 ein Blockdiagramm der Signalverarbeitung,  
 Fig. 6 ein Blockdiagramm des Analyseteils der Signalverarbeitung von Fig. 5; und  
 Fig. 7-13 Diagramme zur Funktionserläuterung.

Wie schon erwähnt wurde, werden für den Hörbehinderten nicht hörbare Signale, insbesondere Sprachinformationen, in der Weise in den hörbaren Bereich transformiert, dass die empfundene Lautheit bei normalhörenden und bei hörbehinderten Personen die gleiche ist. Für einfache Signale, wie Sinustöne oder schmalbandiges oder weisses Rauschen ist die Bestimmung relativ einfach und entsprechende Methoden sind bekannt (E. Zwicker: "Psychoakustik", Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1982). Für komplexere Signale, wie Sprache, ist die Lautheitsbestimmung schwieriger und vor allem mathematisch aufwendig.

50 Zur Lautheitsbestimmung wird zuerst eine sogenannte Hörfeldskalierung durchgeführt (J.B. Allen, J.L. Hall, P.S. Jeng: "Loudness growth in  $\frac{1}{2}$ -octave bands (LGOB) - A procedure for the assessment of loudness", J. Acoustic Society Am., 88/2: 745-753, 1990; R.H. Margolis: "Magnitude estimation of loudness III: Performance of selected hearing aid users", J. Speech and Hearing Res. 28: 411-420, 1985). Dies erfolgt durch Versuche an einer normalhörenden und an der jeweiligen hörbehinderten Person.

55 Zuerst werden bei einer bestimmten Testfrequenz  $f_t$  die Hörschwelle und die Grenze der unbehaglichen Lautstärke gemessen und dann werden der Versuchsperson kurze Töne mit zufällig wechselndem Schallpegel (dB SPL) innerhalb der gemessenen Dynamik angeboten. Nach jedem Ton muss die Versuchsperson

die Lautheit auf einer kontinuierlichen Skala von "sehr leise" über "leise", "mittel", "laut" bis "sehr laut" beurteilen. Diesen Attributen der Lautheitsempfindung werden gemäss Fig. 1 zur mathematischen Handhabung Werte zwischen 0 und 100 zugeordnet. Die Messungen werden bei verschiedenen Frequenzen von 250 bis 5000 Hz durchgeführt. Die Skalierungen weisen naturgemäß bei jeder Versuchsperson eine Streuung auf; in Fig. 1 sind jeweils die Meridianwerte von 4 Skalierungen angegeben. Zu diesen gemittelten Messwerten wird eine Regressfunktion bestimmt, welche eine gute Korrelation ergibt.

Für das Verfahren wurde eine Funktion der folgenden Form verwendet:

$$SL_N(L,f) = A_N(f) + B_N(f) \cdot L^2 \quad \text{Formel (1)}$$

In dieser Formel bezeichnet  $L$  den Schallpegel (dB SPL) als Variable;  $SL_N(L,f)$  die skalierte Lautheit von normalhörenden Personen in Funktion von Schallpegel und Frequenz und  $A_N(f)$ ,  $B_N(f)$  die Parameter der Regressfunktion für normalhörende Personen, wobei  $A$  und  $B$  frequenzabhängig sind. Jede andere gut korrelierende Regressfunktion kann ebenfalls verwendet werden, wobei sich dann die nachfolgenden Funktionen entsprechend der gewählten Funktion ändern.

Die gleiche Messungen werden auch mit hörbehinderten Personen durchgeführt und man erhält die skalierte Lautheit  $SL_P(L,f)$  für die hörbehinderte Person:

$$SL_P(L,f) = A_P(f) + B_P(f) \cdot L^2 \quad \text{Formel (2)}$$

Analog zu Formel (1) bezeichnen  $A_P(f)$  und  $B_P(f)$  die Parameter der Regressfunktion für hörbehinderte Personen. In Fig. 1 gibt die linke, gestrichelte Kurve die skalierte Lautheit  $SL_N$  für normalhörende Personen und die rechte, voll ausgezogene Kurve die skalierte Lautheit  $SL_P$  für eine hörbehinderte Person wieder, und zwar für eine Testfrequenz  $f_t$  von 3000 Hz. Die beiden Lautheitskurven weisen naturgemäß einen gegenseitigen Abstand auf, der den Hörverlust  $HV$  der hörbehinderten Person gegenüber einer normalhörigen angibt. Dieser Hörverlust ist von der Frequenz und vom Schallpegel abhängig; in Fig. 1 sind die Hörverlustswerte  $HV$  bei der Testfrequenz  $f_t = 3000$  Hz für die beiden Schallpegelwerte 20 dB und 60 dB eingetragen.

Der Hörverlust  $HV$  kann somit durch Vergleiche der Messungen von normalhörenden und hörbehinderten Personen für jede Messfrequenz in Abhängigkeit des Schallpegels berechnet werden.

Der Hörverlust  $HV$  ist im allgemeinen vom Schallpegel abhängig, so dass zur Kompensation des Hörverlusts eine schallpegelabhängige Verstärkung (Kompression) nötig ist.

Die Formel für die Berechnung des Hörverlusts  $HV$

35

$$HV(L,f) = \sqrt{\frac{A_N(f) + B_N(f) \cdot L^2 - A_P(f)}{B_P(f)}} - L \quad \text{Formel (3)}$$

40

liefert eine Funktion, welche für jeden Schallpegel  $L$  bei der Frequenz  $f$  die erforderliche Verstärkung angibt, mit der ein sinustörmiges Signal verstärkt werden muss, damit die hörbehinderte Person die gleiche Lautheit empfindet wie normalhörende Personen (Fig. 2).

45 Die Fig. 3 und 4 zeigen die Ergebnisse der Lautheitsmessung von Fig. 1 in einer Frequenz-Schallpegel-Darstellung, Fig. 3 für normalhörende Personen und Fig. 4 für eine hörbehinderte Person. Die verschiedenen Kurven sind Kurven gleicher Lautheit ähnlich den sogenannten Isophonen, wobei die Beschriftung der Kurven jedoch nicht Phon ist sondern der skalierten Lautheit entspricht. Die Umrechnung von der skalierten Lautheit in Phon wurde und wird hier nicht durchgeführt. Entsprechend wird im weiteren 50 der Ausdruck Isophone für Kurven gleicher skalierte Lautheit verwendet.

Die Funktion gemäß Formel (3) wird nun zur Bestimmung einer frequenz- und intensitätsabhängigen Verstärkung verwendet, um sowohl für sinustörmige als auch für komplexere Signale bei normalhörenden und bei hörbehinderten Personen die gleiche Lautheitsempfindung zu erzielen. Die Signalverarbeitung ist in den Fig. 5 und 6 dargestellt.

55 Gemäß Fig. 5 wird das Eingangssignal in einer Eingangsstufe 1 tiefpassgefiltert und digitalisiert und anschließend einer Blockbildungsstufe 2 zugeführt, in welcher der Signalverlauf zusätzlich mit einem Hanning-Window gewichtet wird. Diese Blockbildung ist erforderlich, um ein Spektrum zu erhalten, oder mit anderen Worten, um das Signal aus dem Zeitbereich in den Frequenzbereich transformieren zu können. In

der Blockbildungsstufe 2 wird das Signal wie erwähnt mit einer Fensterfunktion multipliziert. Das Hanning-Window ist nun eine solche Fensterfunktion, und zwar eine kosinusförmige, die gegenüber einer rechteckigen Fensterfunktion den Vorteil besitzt, dass das Spektrum praktisch nicht verschmiert wird. In Fig. 7 ist ein Block der Länge T des Signals im Zeitbereich nach der Multiplikation mit dem Hanning-Window dargestellt.

Das in Fig. 7 dargestellte Zeitsignal wird nun in einer Transformationsstufe 3 vom Zeitbereich mit einer diskreten Fouriertransformation (DFT, FFT) in den Frequenzbereich transformiert und aus dem dabei entstehenden Kurzzeitspektrum wird in einem Analyseblock 4 eine Schätzung der Lautheit errechnet. Die Real- und Imaginärteile des durch die Fouriertransformation erhaltenen Spektrums sind mit  $Re_{1\dots n}$  beziehungsweise  $Im_{1\dots n}$  bezeichnet. Dabei gibt  $n$  die Anzahl der Frequenzlinien im Frequenzbereich an. Die Grösse von  $n$  ist durch die gewählte Fouriertransformation bestimmt; bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel wurde  $n = 64$  gewählt.

Im Analyseblock 4, welcher in Fig. 6 im Detail dargestellt ist, wird das Amplitudenspektrum des Eingangssignals durch das Amplitudenspektrum eines reinen Sinustons ersetzt. Frequenz und Amplitude dieses Sinustons werden so berechnet, dass die Lautheit des Sinustons der Lautheit des Eingangssignals entspricht. Die Frequenz wird berechnet als "Schwerpunkt" des Energiespektrums. Der Lautheitsbildung des Gehörs wird Rechnung getragen durch Umwandlung der Frequenz  $f$  in die Tonheit  $z$  in Bark (E. Zwicker: "Psychoakustik", Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York; 1982) nach folgender Formel ( $f$  in Kilohertz):

$$z(f) = 13 \arctan(0,76 f) + 3,5 \arctan \frac{f}{7,5} \quad \text{Formel (4)}$$

Für die Tonheit  $z_s$  des spektralen "Schwerpunkts" gilt:

$$z_s = \frac{\sum_{i=1}^n (z(f_i) \cdot E_i)}{\sum_{i=1}^n E_i} \quad \text{Formel (5)}$$

und für die Energie  $E_i$  pro Tonheit

$$E_i = \sum_{k=m_{i-1}}^{m_i} (Re_k^2 + Im_k^2) \quad \text{Formel (6)}$$

wobei

$$m_{i-1} = \min \left\{ i - \frac{1}{10}, -1, n \right\}$$

und

$$m_i = \max \left\{ i - \frac{1}{10}, 1 \right\}$$

mit  $i = 1 \dots n$ . Die Indices  $m_{i-1}$  und  $m_i$  sind Ober- und Untergrenzen von Spektralbändern oder Frequenzgruppen. Formel 6 berechnet also die in eine Frequenzgruppe gehörende Energie; Fig. 8 illustriert Formel (6). Als Näherung für die Berechnung nach Formel (6) gilt, dass die Frequenzgruppenbandbreite 20% der Mittenfrequenz (nach dem schon zitierten Buch von E. Zwicker) beträgt. Aus Formel (5) erhält man den

"Schwerpunkt" in Bark und mit Formel (4) erfolgt die Umrechnung in die Frequenz  $f_s$  des spektralen "Schwerpunkts" in kHz (iterative Berechnung).

Die Energie  $E_s$ , die der Sinuston bei der Frequenz  $f_s$  haben muss ( $E_s =$  Energie des äquivalenten Sinustons bei der Frequenz des spektralen "Schwerpunkts"), ist eine Funktion der Gesamtenergie  $E_{tot}$  ( $E_{tot} =$  Gesamtenergie im Frequenzbereich) im Kurzzeitspektrum des Eingangssignals.

$$E_s = F(E_{tot}) \quad \text{Formel (7)}$$

10

$$E_{tot} = \sum_{i=1}^n |Re_i + Im_i|^2 \quad \text{Formel (8)}$$

15

Die Funktion  $F$  in Formel (7) ist abhängig von den spektralen Eigenschaften des Eingangssignals, wobei für sinusförmige Signale natürlich gilt:

$$E_s = E_{tot} \quad \text{Formel (9)}$$

Diese Formel ist auch für Sprachsignale brauchbar. Für gleichmäig anregendes Rauschen findet man eine Messung in dem schon zitierten Buch von E. Zwicker.

Aus der Energie  $E_s$  des äquivalenten Sinustons wird nun der Schallpegel  $L_s$  des äquivalenten Sinutons bestimmt:

$$L_s = 10\log(E_s) \quad \text{Formel (10)}$$

Alle diese Berechnungen erfolgen in einer Lautheitsschätzungsstufe 5, an deren Ausgang die Frequenz  $f_s$  des spektralen "Schwerpunkts" und der Schallpegel  $L_s$  des äquivalenten Sinustons erhältlich sind. Mit den Angaben  $f_s$  und  $L_s$  ist es nun möglich, mit Hilfe der anhand von Fig. 1 beschriebenen Messungen mit normalhörenden Personen, in einer Stufe die zugehörigen Isophone  $R_{1...n}$  (Kurven gleicher Lautheit) zu berechnen. Dazu wird  $L_s$  in Formel (1) eingesetzt, wodurch man die skalierte Lautheit  $SL(L_s, f_s)$  erhält. Um  $R_{1...n}$  zu erhalten, löst man Formel (1) nach  $L$  auf und setzt die berechnete skalierte Lautheit und die entsprechende Frequenz ein.

Für den Zusammenhang zwischen den effektiven Schallpegelwerten, die bei der Messung verwendet werden, und den Zahlenwerten im Frequenzbereich gilt folgende Ueberlegung: Ein sinusförmiges Signal am Eingang des Systems muss entsprechend der Funktion des Hörverlusts nach Formel (3) verstärkt werden. Im Frequenzbereich sind die Zahlen nun so normiert, dass der aus der Gesamtenergie  $E_{tot}$  berechnete Schallpegel  $L_{tot}$  für ein sinusförmiges Signal gerade dem Schallpegel  $L_{tot}$  entspricht. Daher kann die Formel (10) auch auf folgende Weise angeschrieben werden:

$$L_{tot} = 10\log(E_{tot}) \quad \text{Formel (11)}$$

Die Formel (11) stellt also den Zusammenhang zwischen den Messungen einerseits und den im Frequenzbereich benutzten Zahlenwerten andererseits her.

Wie Fig. 6 weiter zu entnehmen ist, wird parallel zur Bestimmung der Isophone die in der spektralen Energieverteilung steckende Information berechnet. Letzteres erfolgt durch eine starke Glättung des in einer Stufe 7 berechneten logarithmischen Amplitudenspektrums in einer Glättungsstufe 8. Dabei interessiert nur die grobe Verteilung der Energie, also die Frage, ob es sich um ein flaches, ansteigendes oder abfallendes Spektrum handelt. Bei dieser Glättung werden die Amplituden  $A_i$  des logarithmischen Amplitudenspektrums durch den Mittelwert der benachbarten Amplituden  $A_{i-m}$  bis  $A_{i+m}$  ersetzt.

Für das geglättete logarithmische Amplitudenspektrum  $A_i$  gilt folgende Formel

55

$$A'_i = \frac{1}{m_1+m_2+1} \cdot \sum_{k=i-m_1}^{i+m_2} A_k \quad \begin{array}{l} m_2=\min\{i+m,n\} \\ m_1=\max\{i-m,1\} \end{array} \quad i=1\dots n$$

5 Formel (12)

mit

10

$$A_k = 10 \log (Re_k^2 + Im_k^2)$$

Formel (13)

15

Dabei wird  $m$  so gewählt, dass die Formantstruktur des Spektrums nicht mehr erkennbar ist (bei  $n=64$  ist für  $m$  ein Wert zwischen 20 und 40 sinnvoll).

Das geglättete Spektrum  $A'_i$  wird nun in einer Korrekturstufe 9 um eine Konstante  $\Delta K$  korrigiert, und zwar gemäss Fig. 9 derart, dass die Amplitude bei der Frequenz  $f_s$  des Schwerpunkts gerade die gleiche 20 Energie hat wie die berechnete Energie  $E_s$  des Schwerpunkts. Für die Korrekturkonstante  $\Delta K$  und für das korrigierte geglättete logische Amplitudenspektrum  $S_i$  gelten folgende Formeln:

$$\Delta K = L_s - A'_s \quad (L_s \text{ und } A'_s \text{ in dB}) \quad \text{Formel (14)}$$

25

$$S_i = A'_i + \Delta K \quad i=1\dots n \quad \text{Formel (15)}$$

30

Gemäss Fig. 6 stehen für die weitere Bearbeitung zwei Funktionen zur Verfügung, und zwar einerseits die Isopone  $R_{1\dots n}$  und andererseits das um  $\Delta K$  korrigierte stark geglättete Spektrum  $S_{1\dots n}$ . Beide Funktionen, die gemäss Fig. 9 bei der Frequenz  $f_s$  des Schwerpunkts den gleichen Wert haben, werden einer Stufe 10 zugeführt, in welcher eine individuelle Anpassung an die hörbehinderte Person erfolgt. Durch Versuche mit 35 der hörbehinderten Person wird eine Konstante ermittelt, mit welcher der Einfluss von  $R_{1\dots n}$  und  $S_{1\dots n}$  auf die nachfolgende Verstärkungsberechnung bestimmt werden kann.

Für die äquivalenten Schallpegel  $L_i$  zur Steuerung der Verstärkung gilt:

$$L_i = R_i + \alpha (S_i - R_i) \quad i=1\dots n, 0 \leq \alpha \leq 1 \quad \text{Formel (16)}$$

40

Die Bestimmung der Verstärkungsfaktoren in einer Stufe 11 erfolgt mit Hilfe der Funktion (3).

Zur Erhöhung des Schallpegels eines sinusförmigen Signals um 1dB muss  $E_{tot}$  im Frequenzbereich um 1dB erhöht werden. Dies erreicht man durch Multiplikation des Spektrums (Real- und Imaginärteile) mit

45

$$\frac{1}{10^{20}}$$

50 so dass sich die Verstärkungsfaktoren direkt aus der Formel (3) in dB ergeben (0dB = Verstärkung 1). Nach der Umrechnung in lineare Faktoren wird das Eingangsspektrum mit diesen Faktoren  $G$  multipliziert, was in einer Modifikationsstufe 12 (Fig. 5) erfolgt. Es werden Real- und Imaginärteil je mit dem gleichen Faktor multipliziert, so dass nur das Amplitudenspektrum verändert wird, das Phasenspektrum aber gleich bleibt.

55 Fig. 10 zeigt die Verstärkungsfaktoren für die beiden Grenzwerten  $\alpha=0$  und  $\alpha=1$ . Wird  $\alpha=0$  gewählt, dann wird  $L_i=R_i$ . Damit erreicht man, da  $R$  eine Isophone ist, dass die Verstärkungsfaktoren  $G_i$  so festgelegt werden, dass die in dB angegebenen Differenzen des geglätteten logarithmischen Eingangsamplitudenspektrums  $A'_i$  und der Isophone  $R_i$  gleich gross sind wie die Differenzen des modifizierten

Eingangsspektrums und der entsprechenden Isophone der hörbehinderten Person. (Die Berechnung des modifizierten Amplitudenspektrums ist für die Verarbeitung nicht nötig und wird auch nicht durchgeführt; sie dient hier lediglich der Illustration). Mit dieser Wahl von  $\alpha$  wird sichergestellt, dass diejenigen Anteile des Signals, welche am meisten zur Lautheitsbildung beitragen, richtig, oder mit anderen Worten, so verstärkt

5 werden, dass die hörbehinderte Person den gleichen Lautheitseindruck hat wie eine normalhörende Person.

Wird  $\alpha = 1$  gewählt, dann wird  $L_i = S_i$ . Dadurch werden diejenigen Signalanteile verstärkt, welche zur Bildung der Lautheit nur wenig beitragen, und zwar soweit, dass sie für den Hörbehinderten hörbar werden, aber nicht zu einer wesentlichen Erhöhung der Lautheit führen. Letzteres lässt sich den Fig. 11 und 12 entnehmen, von denen Fig. 11 ein Originalspektrum mit Isophonen normalhörender Personen und Fig. 12 10 ein modifiziertes Sepktrum mit Isophonen einer hörbehinderten Person zeigt. Mit  $\alpha$  kann eingestellt werden, wie stark diejenigen spektralen Anteile verstärkt werden sollen, die weit entfernt von der Schwerpunkt fre-  
quenz liegen.

15 Das in der Funktionsstufe 12 modifizierte Spektrum wird nun in einem Funktionsblock 13 mit einer inversen Fouriertransformation in den Zeitbereich zurücktransformiert. Fig. 13 zeigt das Zeitsignal nach der Verarbeitung. Die verarbeiteten Blöcke gemäß Fig. 13 werden in einer Rekonstruktionsstufe 14 überlappend addiert. Die Signalverarbeitung erfolgt nach dem Overlap-Add-Algorithmus von Allen (J.B. Allen: "Short Term Spectral Analysis, Synthesis and Modification by Discrete Fourier Transform", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP-25, 235-238, 1977), wodurch man wieder ein kontinuierliches Zeitsignal erhält. Letzteres wird in einer Ausgangsstufe 15 über einen D/A-Wandler und Tiefpassfilter 20 in ein akustisches Signal umgewandelt, welches an das Trommelfell der hörbehinderten Person geführt ist und somit das Eingangssignal für deren Ohr bildet.

#### Patentansprüche

25 1. Verfahren zur Verstärkung von akustischen Signalen für Hörbehinderte durch Transformation von für den Hörbehinderten nicht hörbaren Signalen in den hörbaren Bereich, dadurch gekennzeichnet, dass die Transformation in den hörbaren Bereich auf eine solche Weise erfolgt, dass die beim Hören empfundene Lautheit ( $L$ ) bei normalhörenden und hörbehinderten Personen gleich ist.

30 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lautheit bei normalhörenden Personen und der hörbehinderten Person gemessen und daraus der Hörverlust ( $HV$ ) bestimmt wird, und dass dieser Hörverlust zur Bestimmung der notwendigen Verstärkung verwendet wird.

35 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung der Lautheit mittels einer Lautheitsskalierung mit Schmalbandsignalen erfolgt, wobei der Versuchsperson bei verschiedenen Testfrequenzen ( $f_i$ ) kurze Töne mit wechselndem Schallpegel ( $L$ ) angeboten und von dieser nach ihrer Lautheit beurteilt wird.

40 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass zu den skalierten Messwerten eine Regressfunktion ( $SL_N$ ,  $SL_P$ ) für die skalierte Lautheit mit guten Korrelationseigenschaften bestimmt wird, und dass deren Parameter für die Bestimmung des Hörverlusts ( $HV$ ) in Funktion des Schallpegels ( $L$ ) und der Frequenz ( $f$ ) verwendet werden.

45 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das akustische Signal digitalisiert und blockweise vom Zeitbereich in den Frequenzbereich transformiert wird, und dass aus dem dadurch entstehenden Kurzzeitspektrum eine Schätzung der Lautheit erfolgt.

50 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur Lautheitsschätzung ein äquivalentes Spektrum berechnet wird, welches aus einer Frequenzlinie ( $f_s$ ) mit einer entsprechenden Energie ( $E_s$ ) besteht, und aus dieser die Energie des äquivalenten Tons bei der genannten Frequenz darstellenden Amplitude der Schallpegel ( $L_s$ ) berechnet wird, wobei letzterer dem Zehnfachen des Zehnerlogarithmus der genannten Energie entspricht.

55 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die genannte Frequenz ( $f_s$ ) als Schwerpunkt eines Energiespektrums berechnet wird, dessen Bandbreite einige, vorzugsweise 10 bis 25%, der Mittenfrequenz dieses Spektrums beträgt.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Frequenzwert ( $f_s$ ) und aus dem entsprechenden Schallpegel ( $L_s$ ) die dazugehörige Isophone ( $R_i$ ) berechnet, und dass die in der spektralen Energieverteilung des Amplitudenspektrums des Kurzzeitspektrums enthaltene Information bestimmt wird, wobei letzteres durch eine Glättung des Amplitudenspektrums erfolgt, und dass die Isophone und die genannte Information zur Steuerung der Verstärkungsfaktoren verwendet werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das geglättete Spektrum um eine Konstante ( $\Delta K$ ) so korrigiert wird, dass die Amplitude bei der Frequenz ( $f_s$ ) des Schwerpunkts die gleiche Energie hat wie dessen berechnete Energie ( $E_s$ ), und dass das so korrigierte geglättete Spektrum ( $S_i$ ) zusammen mit der Isophone ( $R_i$ ) zur Steuerung der Verstärkungsfaktoren verwendet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass durch Versuche mit der hörbehinderten Person ein individuell einstellbarer Faktor ( $\alpha$ ) mit einem Wert zwischen null und eins ermittelt und zur Steuerung des Einflusses der Isophone ( $R_i$ ) und des korrigierten, geglätteten Spektrums ( $S_i$ ) auf die Verstärkungsfaktoren verwendet wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass im Frequenzbereich das Amplitudenspektrum des Kurzzeitspektrums multiplikativ mit den Verstärkungsfaktoren ( $G_i$ ) verändert wird, und dass dabei das Phasenspektrum erhalten bleibt.
12. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit einer Verstärkungsstufe zur Verstärkung der akustischen Signale, gekennzeichnet durch eine Stufe (4) zur Analyse der genannten Signale und zur Bestimmung der Verstärkungsfaktoren ( $G_i$ ) der Verstärkungsstufe, in welcher anhand eines Vergleichs von Messungen an normalhörenden und an hörbehinderten Personen eine Berechnung des Hörverlust (HV) für verschiedene Frequenzen ( $f$ ) in Abhängigkeit des Schallpegels ( $L$ ) erfolgt.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, gekennzeichnet durch eine Eingangsstufe (1) für die akustischen Signale, in welcher eine Filterung und eine Digitalisierung der Signale erfolgt.
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Eingangsstufe (1) eine Blockbildungsstufe (2) zur Multiplikation des digitalisierten Signals mit einer Fensterfunktion, vorzugsweise mit einem sogenannten Hanning-Window, nachgeschaltet ist.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Blockbildungsstufe (2) eine Transformationsstufe (3) zur Transformation des Ausgangssignals der Blockbildungsstufe vom Zeit- in den Frequenzbereich nachgeschaltet ist, und dass die Ausgangssignale der Transformationsstufe der Analysestufe (4) zugeführt sind.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Analysestufe (4) eine Funktionsstufe (5) zur Lautheitsschätzung aufweist, durch welche die Berechnung eines äquivalenten, aus einer Frequenzlinie einer bestimmten Frequenz ( $f_s$ ) und einer bestimmten Energie ( $E_s$ ) bestehenden Spektrums erfolgt.
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, gekennzeichnet durch eine Funktionsstufe (7, 8) zur Berechnung des Amplitudenspektrums ( $A_i$ ) des Kurzzeitspektrums des Eingangssignals der Analysestufe (4) und zu dessen Glättung, und durch Mittel (9) zur Korrektur des geglätteten Amplitudenspektrums ( $A'_i$ ) mit einer Konstanten ( $\Delta K$ ), wobei diese Korrektur so erfolgt, dass die Amplitude bei der Frequenz ( $f_s$ ) der genannten Frequenzlinie die gleiche Energie aufweist wie deren berechnete Amplitude ( $E_s$ ), welche die Energie eines äquivalenten Tons bei der genannten Frequenz darstellt.
18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass in der Stufe (5) zur Lautheitsschätzung aus der die Energie ( $E_s$ ) des äquivalenten Tons bei der genannten Frequenz ( $f_s$ ) darstellenden Amplitude eine Berechnung des Schallpegels ( $L_s$ ) erfolgt, und dass eine Funktionsstufe (6) zur Berechnung der Isophone ( $R_i$ ) aus dem Schallpegel und der genannten Frequenz vorgesehen ist.
19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Isophone ( $R_i$ ) und das korrigierte, geglättete Amplitudenspektrum ( $S_i$ ) einer gemeinsamen Stufe (11) zur Bestimmung der Verstärkungsfaktoren ( $G_i$ ) zugeführt sind.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Einfluss der Isophone ( $R_i$ ) und des korrigierten, geglätteten Amplitudenspektrums ( $S_i$ ) auf die Verstärkungsfaktoren ( $G_i$ ) durch einen anhand von Versuchen mit der hörbehinderten Person individuell einstellbaren Faktor ( $\alpha$ ) gesteuert ist.

5

10

15

20

25

30

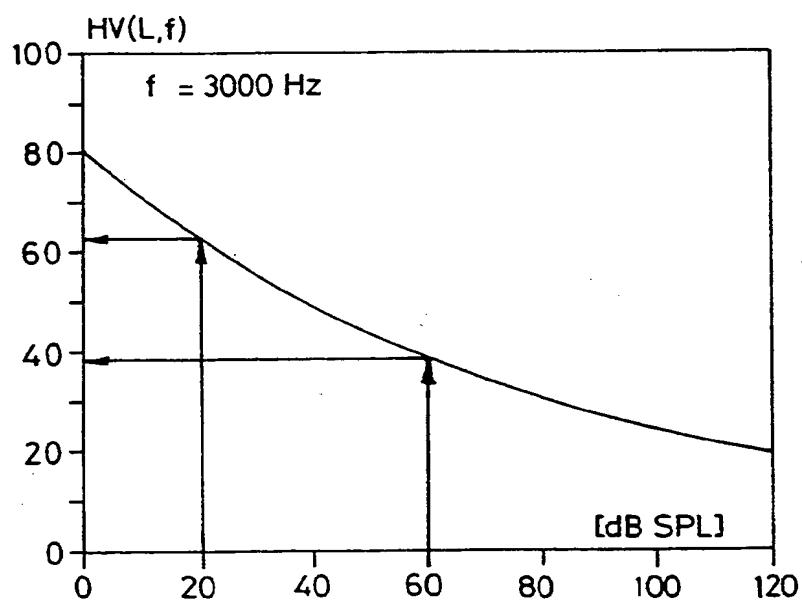
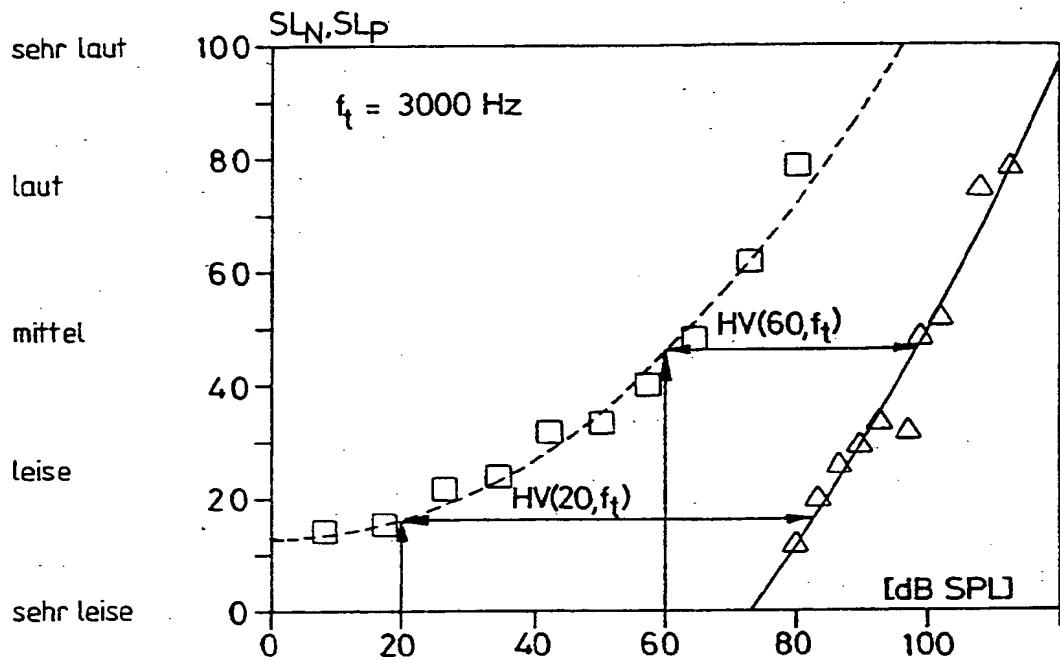
35

40

45

50

55

FIG.2

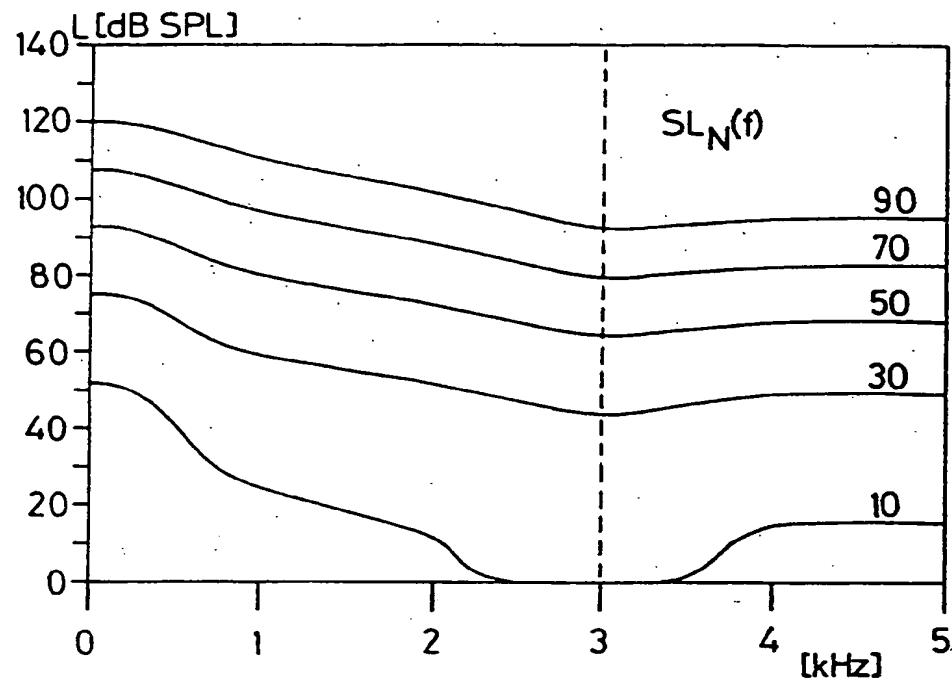


FIG. 3

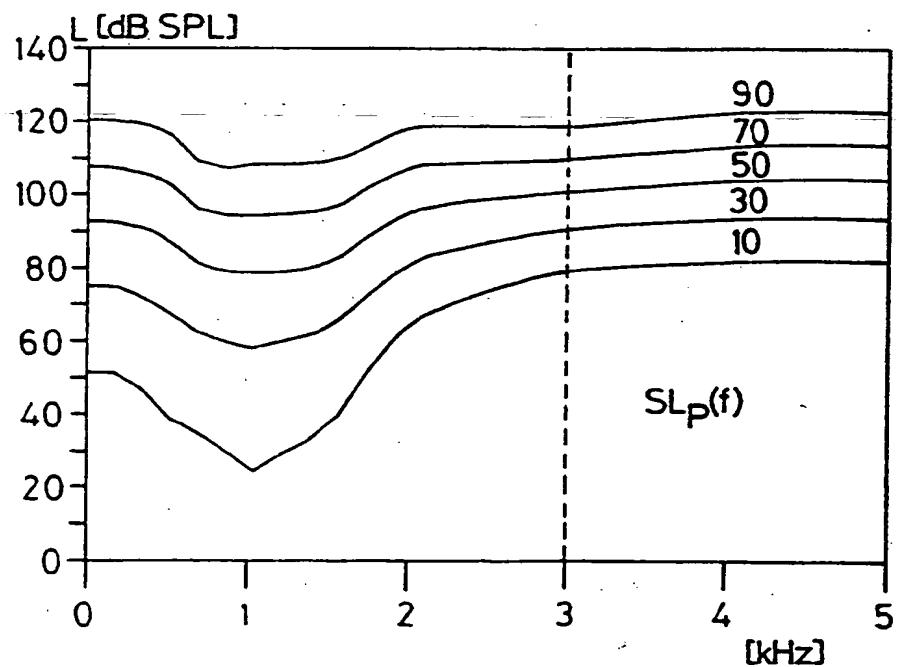


FIG. 4

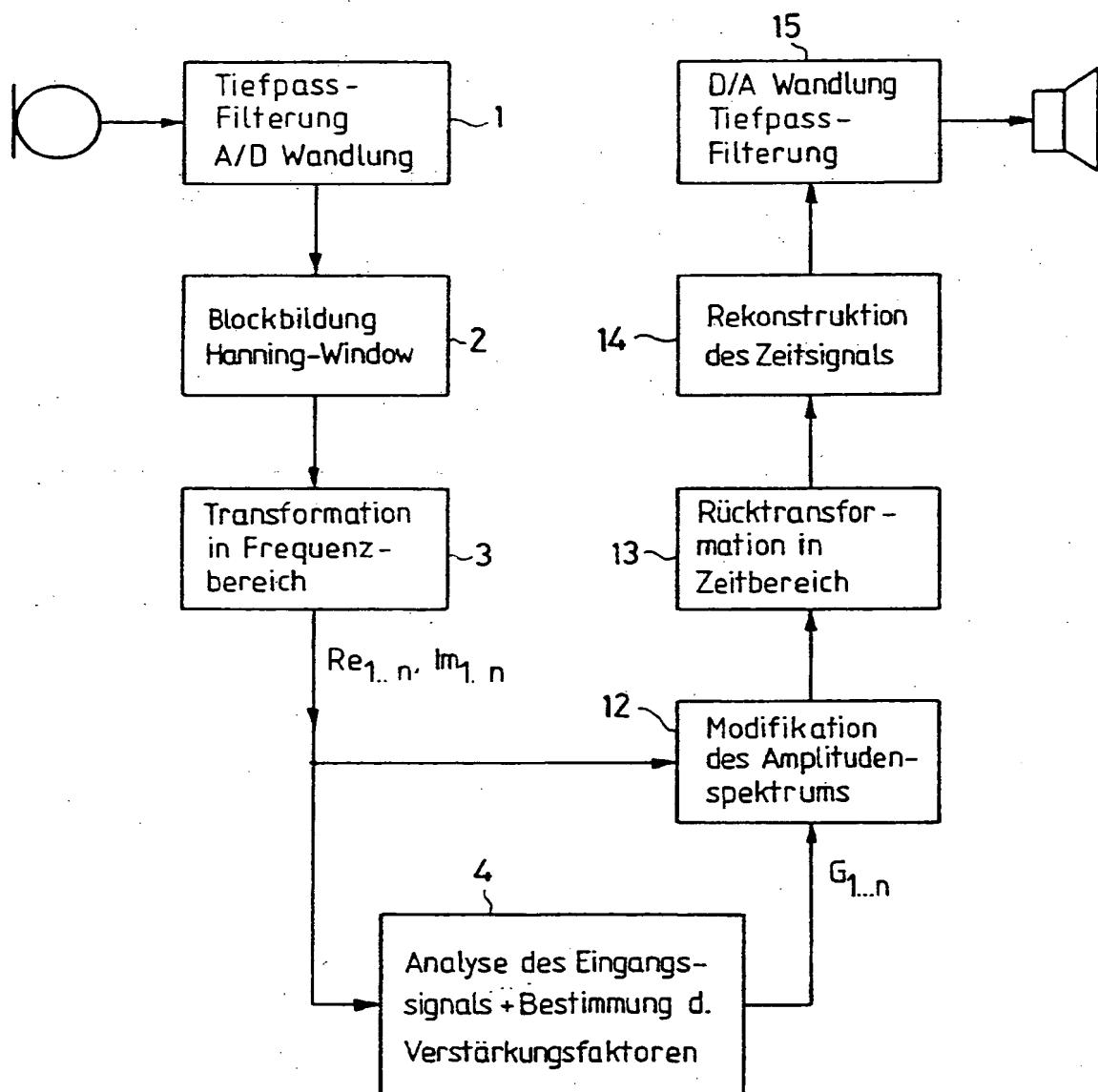
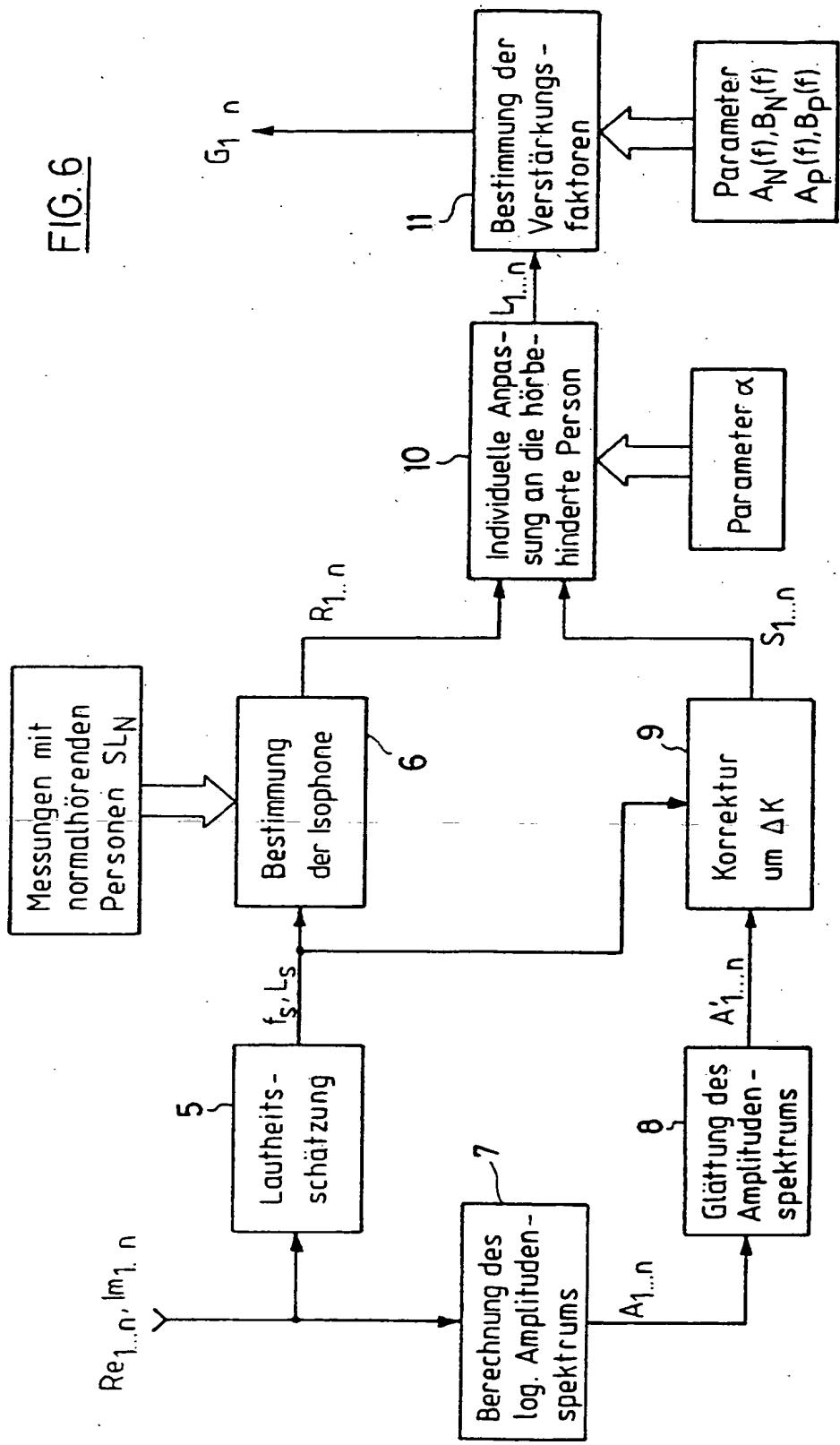
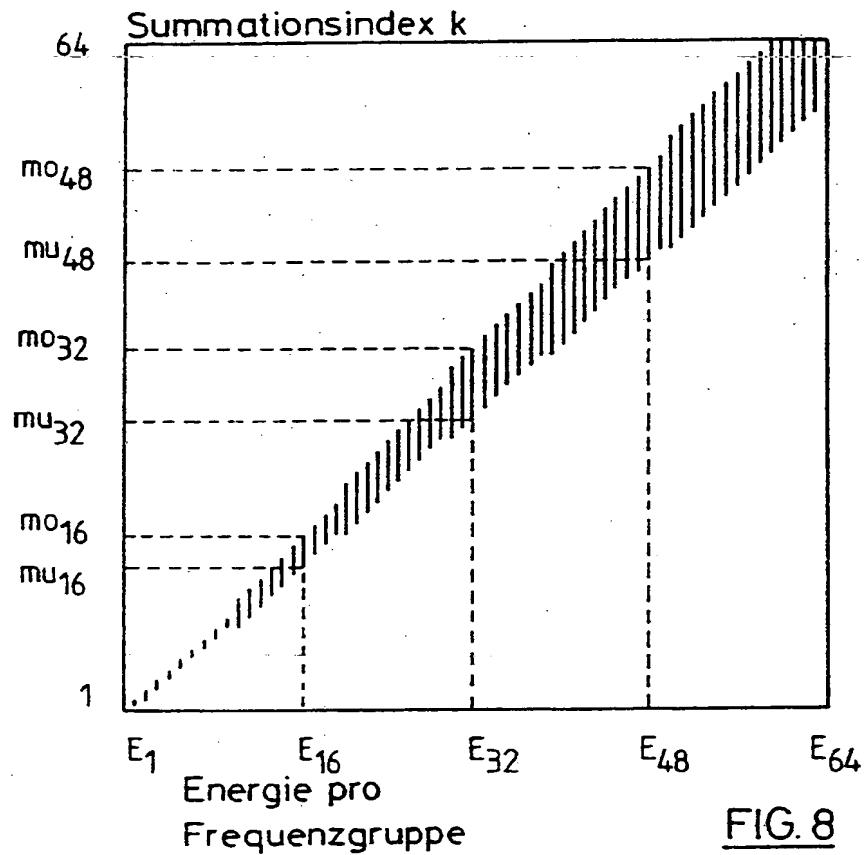
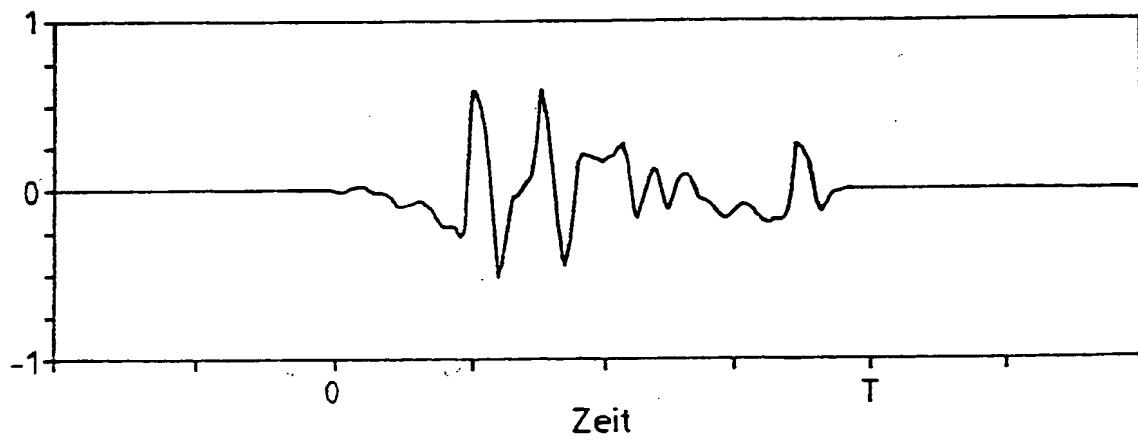
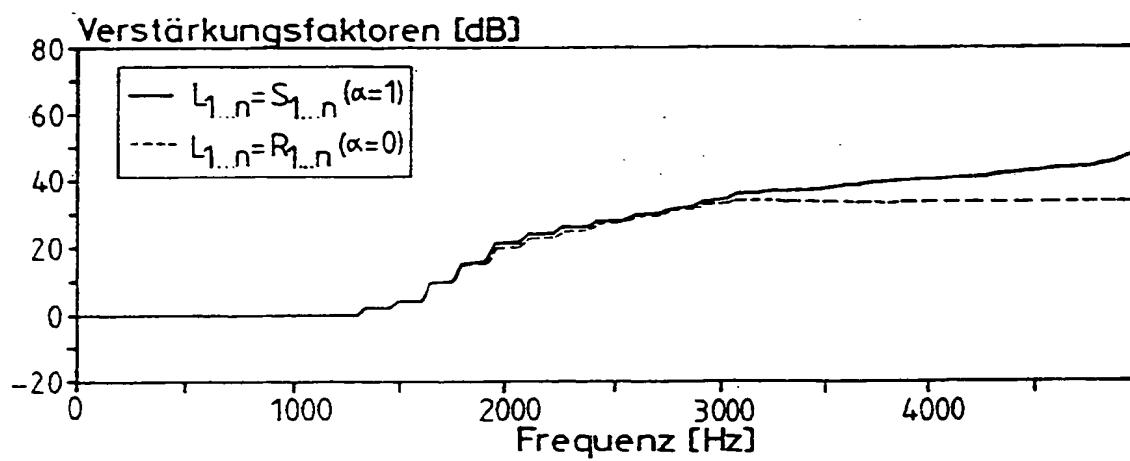
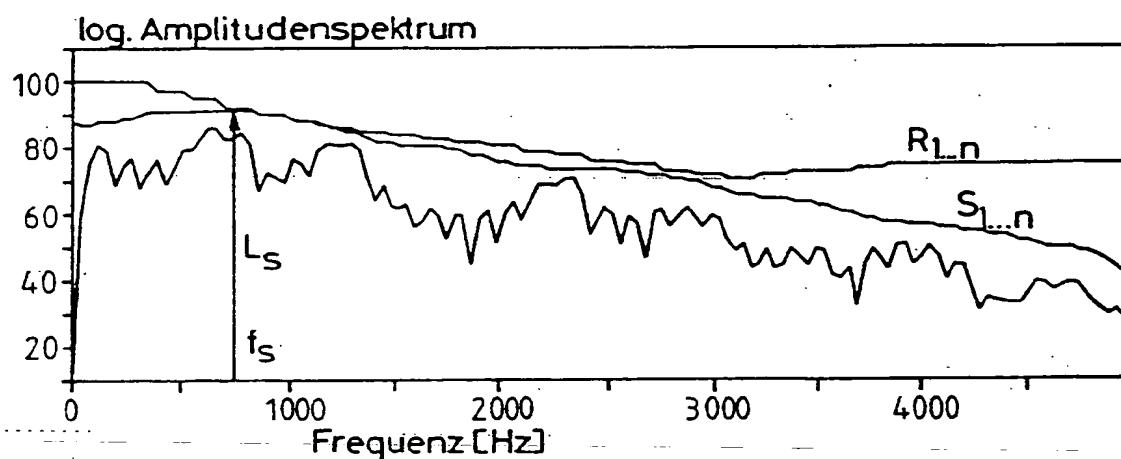
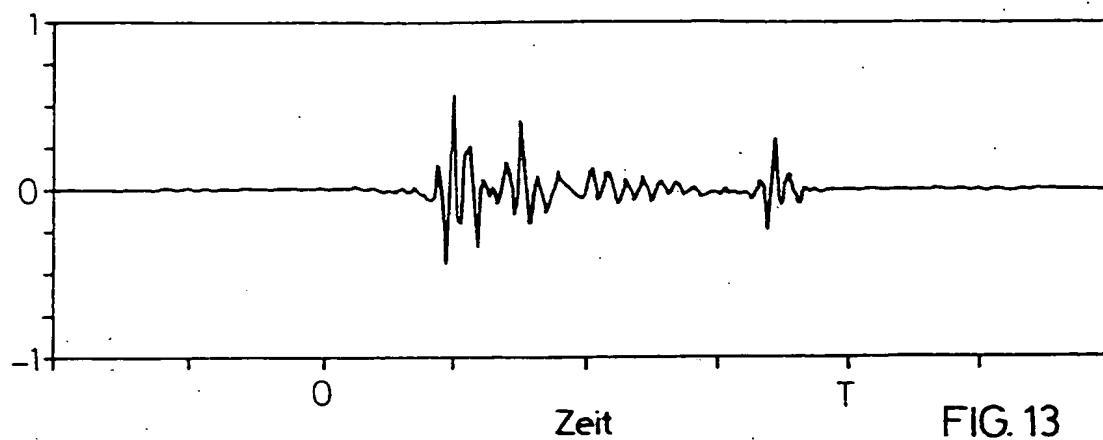


FIG. 5

FIG. 6



FIG. 8FIG. 7



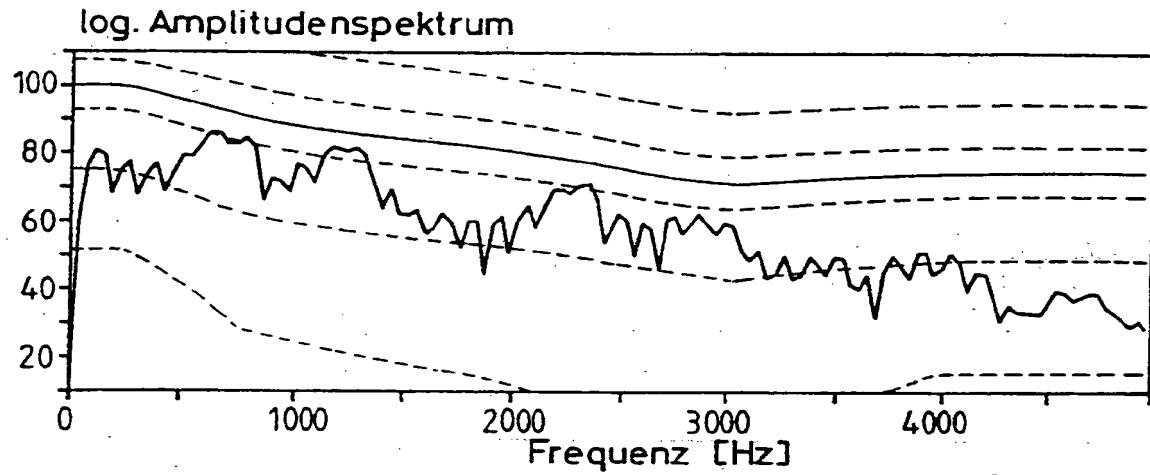


FIG. 11

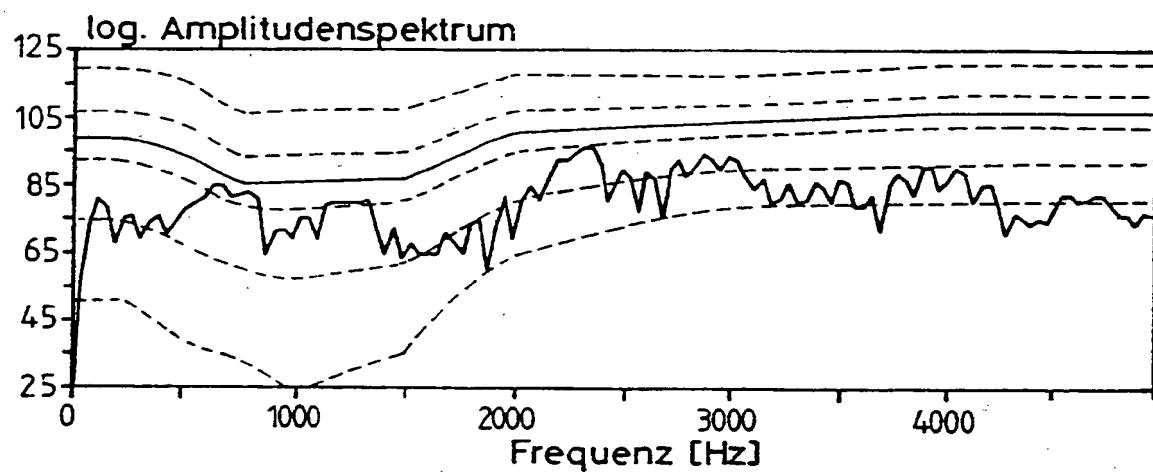


FIG. 12



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 535 425 A3**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **92115626.1**

(51) Int. Cl. 5: **H04R 25/00**

(22) Anmeldetag: **12.09.92**

(30) Priorität: **03.10.91 CH 2923/91**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**07.04.93 Patentblatt 93/14**

(64) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT CH DE DK FR GB IT LI SE**

(88) Veröffentlichungstag des später veröffentlichten Recherchenberichts: **10.11.93 Patentblatt 93/45**

(71) Anmelder: **ASCOM AUDIOSYS AG  
Bernstrasse 41  
CH-3175 Flamatt(CH)**

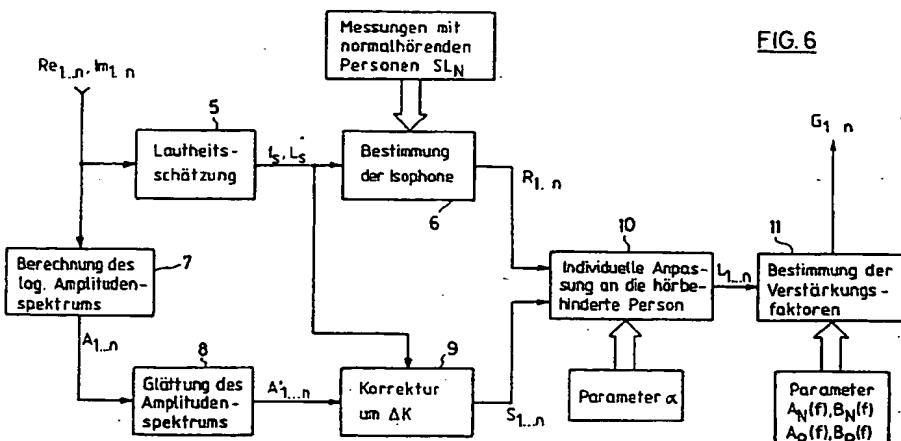
(72) Erfinder: **Fröhlich, Thomas  
Zürcherstrasse 87  
CH-5400 Baden(CH)  
Erfinder: Dillier, Norbert, Dr.  
Ekkehardstrasse 17  
CH-8006 Zürich(CH)**

(74) Vertreter: **Troesch Scheidegger Werner AG  
Patentanwälte,  
Siewerdtstrasse 95,  
Postfach  
CH-8050 Zürich (CH)**

(54) **Verfahren zur Verstärkung von akustischen Signalen für Hörbehinderte, sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.**

(57) Die Verstärkung der akustischen Signale erfolgt durch Transformation von f für den Hörbehinderten nicht hörbaren Signalen in den hörbaren Bereich, und zwar auf eine solche Weise, dass die beim Hören empfundene Lautheit bei normalhörenden und bei hörbehinderten Personen gleich ist.

Die Vorrichtung enthält einen Analyseteil mit einer Stufe (5) zur Lautheitsschätzung, mit einer Stufe (10) zur individuellen Anpassung an eine hörbehinderte Person und mit einer Stufe (11) zur Bestimmung der Verstärkungsfaktoren ( $G_{1...n}$ ).





Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 92 11 5626

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. CL.5)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrieb Anspruch	
X	GB-A-2 184 629 (RICKSON)  * Seite 3, Zeile 7 - Seite 5, Zeile 30; Abbildungen * ---	1-5, 12-13	H04R25/00
X	EP-A-0 252 205 (MARK ANTIN)  * Seite 7, Zeile 20 - Seite 13, Zeile 13; Abbildungen * ---	1-5, 12-13	
X	EP-A-0 071 845 (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT)  * Seite 9, Zeile 29 - Seite 12, Zeile 13; Abbildungen * ---	1-5, 12-13	
A	GB-A-2 033 641 (N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN)  * Seite 3, Zeile 9 - Zeile 63 * ---	1,12	
A	WO-A-9 009 760 (ENSONIQ CORPORATION)  * Ansprüche; Abbildungen * ---	1,12	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. CL.5)
A,D	JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. Bd. 88, Nr. 2, August 1990, NEW YORK US Seiten 745 - 753 J.B. ALLEN ET AL. 'Loudness growth in 1/2-octave bands (LGOB) - A procedure for the assessment of loudness' * Seite 745, Absatz I - Seite 747 * -----	1,12	H04R A61B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchort	Abschlußdatum der Recherche		Prüfer
DEN HAAG	17 SEPTEMBER 1993		GASTALDI G.L.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument ----- & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet			
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie			
A : technologischer Hintergrund			
O : nichtschriftliche Offenbarung			
P : Zwischenliteratur			